凝结芽孢杆菌对感染沙门氏菌蛋鸡生产性能、蛋品质和血浆生化指标的影响

黄世猛　黄楚然　赵丽红　张建云　计　成　马秋刚*

(中国农业大学动物科技学院，动物营养学国家重点实验室，北京 100193)

摘　要：本试验旨在研究凝结芽孢杆菌对感染沙门氏菌前后蛋鸡生产性能、蛋品质的影响，并探究其对感染沙门氏菌蛋鸡血浆生化指标的影响。将 400 只沙门氏菌阴性、体况健康的京红商品代蛋鸡根据产蛋率无显著差异（*P*>0.05）原则随机分成 4 组（A 组、B 组、C 组和 D 组），每组 5 个重复，每个重复 20 只鸡。对照组（A 组和 C 组）饲喂基础饲粮，凝结芽孢杆菌组（B 组和 D 组）在基础饲粮中添加 2.5×10^{10} CFU/kg 凝结芽孢杆菌；饲喂 1 周后，C 组和 D 组连续 2 d 定量口服肠炎沙门氏菌悬浮液(1×10^{8} CFU/mL)，A 组和 B 组口服等量无菌磷酸盐缓冲液（PBS），继续饲养 3 周。结果表明：1）感染沙门氏菌前，凝结芽孢杆菌对蛋鸡生产性能无显著影响(*P*>0.05)。感染沙门氏菌后，沙门氏菌显著降低了蛋鸡平均日采食量(*P*<0.05)；凝结芽孢杆菌极显著降低了蛋鸡料蛋比(*P*<0.01)，显著降低了平均日采食量(*P*<0.05)。2）感染沙门氏菌前，凝结芽孢杆菌极显著增加了蛋鸡蛋壳重/蛋重(*P*<0.01)。感染沙门氏菌后，沙门氏菌和凝结芽孢杆菌对蛋鸡蛋品质指标均无显著影响(*P*>0.05)。3）感染沙门氏菌后，凝结芽孢杆菌显著降低了血浆总胆固醇和甘油三酯含量(*P*<0.05)；沙门氏菌显著降低了血浆总胆固醇、甘油三酯和钙含量，显著提高了血浆谷草转氨酶活性(*P*<0.05)，极显著提高了血浆碱性磷酸酶活性(*P*<0.01)；凝结芽孢杆菌与沙门氏菌对血浆总蛋白含量、钙/磷及谷草转氨酶活性有显著交互作用(*P*<0.05)。综上，凝结芽孢杆菌可改善蛋鸡生产性能和蛋品质，在蛋白质代谢、脂质代谢、肝功能和钙磷吸收上都具有一定程度的改善作用。

关键词：蛋鸡；凝结芽孢杆菌；沙门氏菌；生产性能

收稿日期：2017-06-15

基金项目：国家蛋鸡产业技术体系(CARS-41-K15)；北京市农业局试验示范项目（20140125）；公益性行业（农业）科研专项（201403047）

作者简介：黄世猛（1991-），男，江西南昌人，博士研究生，动物营养与饲料科学专业。E-mail：shimengh@hotmail.com

*通信作者：马秋刚，副教授，博士生导师，E-mail：　maqiugang@cau.edu.cn

中图分类号：S831

肠炎沙门氏菌(*Salmonella enterica serovar Enteritidis*,SE)不仅能引起家禽患病，还能感染人类，引起食物中毒甚至死亡，是主要的食源性病原菌。鸡蛋是人感染沙门氏菌重要的媒介之一。2010 年 5 月美国因食用沙门氏菌感染的鸡蛋制品爆发沙门氏菌感染疫情，召回 5 亿枚疑似沙门氏菌感染的鸡蛋。鸡蛋沙门氏菌感染的有效控制关系公众食品健康。

近年来的研究表明，乳酸菌、双歧杆菌、酵母菌等益生菌可减少宿主沙门氏菌携带数量。Mountzouris 等[1]与 Chen 等[2]研究了益生菌关于竞争性排除沙门氏菌的能力以及相关益生菌的特征。Higgins 等[3]用乳酸杆菌饲喂沙门氏菌攻毒后的蛋鸡，显著降低了沙门氏菌阳性率。凝结芽孢杆菌(*Bacillus coagulans*)为革兰氏阳性菌，是一种高效的益生菌，能提高动物的免疫能力，调节肠道微生物平衡，具有通便、止泻、抗氧化等作用。凝结芽孢杆菌作为饲料添加剂已有较多研究，但其在蛋鸡上的研究鲜见报道。因此，本试验通过研究凝结芽孢杆菌对感染肠炎沙门氏菌蛋鸡生产性能、蛋品质和血浆生化指标的影响，旨在为其在蛋鸡生产中应用提供更多的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

肠炎沙门氏菌菌株，编号 CVCC3377，购自国家兽医微生物菌种保藏中心。凝结芽孢杆菌 ANCB161，课题组从鸡粪中分离得到，活菌数 5.0×10^{10} CFU/g。

1.2 试验设计与饲养管理

选择 45 周龄健康的京红商品蛋鸡，通过全血平板凝集试验和肛拭子法筛选沙门氏菌阴性蛋鸡 400 只，采用 2×2 双因子（凝结芽孢杆菌添加与否、肠炎沙门氏菌攻毒与否）试验设计，根据产蛋率无显著差异（$P>0.05$）原则随机分成 4 组（A、B、C、D 组），每组 5 个重复，每个重复 20 只蛋鸡，每 2 组分到 2 个环境条件相同、独立的生物安全隔离鸡舍。试验第 1 周，对照组（A 组和 C 组）饲喂基础饲粮，凝结芽孢杆菌组（B 组和 D 组）在基础饲

粮中添加 2.5×10[10] CFU/kg 凝结芽孢杆菌，研究凝结芽孢杆菌对感染沙门氏菌前蛋鸡生产性能和蛋品质的影响；饲喂 1 周后，C 组和 D 组试验鸡连续 2 d 口服肠炎沙门氏菌悬浮液(1×10[8] CFU/mL)，A 组和 B 组试验鸡口服等量无菌磷酸盐缓冲液（PBS），继续饲养 3 周，研究凝结芽孢杆菌对感染沙门氏菌后蛋鸡生产性能、蛋品质和血清生化指标的影响。

试验地点为中国农业大学涿州试验基地，采用封闭式鸡舍阶梯式笼养，每笼 1 只鸡，光照时间 16 h，光照强度 16 lx，鸡舍温度 18~27 ℃，相对湿度 50%~70%，纵向负压通风。干粉料自由采食，乳头式饮水器自由饮水。预试期 2 周，正试期 4 周。饲粮营养水平参考我国《鸡饲养标准》(NY/T 33-2004)和京红商品蛋鸡饲养手册确定，基础饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　基础饲粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	66.45
豆粕 Soybean meal	22.80
石粉 Limestone	8.20
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.70
食盐 NaCl	0.30
DL-蛋氨酸 *DL*-methionine	0.12
氯化胆碱 Choline chloride	0.10
微量元素预混料 Trace elements premix[1)]	0.30
维生素预混料 Vitamin premix[2)]	0.03
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[3)]	
禽代谢能 ME/(MJ/kg)	11.30
粗蛋白质 CP	15.52
维生素 E Vitamin E/（mg/kg）	15.38
赖氨酸 Lys	0.75
蛋氨酸 Met	0.37
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.64
苏氨酸 Thr	0.57
色氨酸 Trp	0.18
钙 Ca	3.60
非植酸磷 NPP	0.39

可消化赖氨酸 DLys	0.64
可消化蛋氨酸 DMet	0.35

1) 维生素预混料为每千克饲粮提供 The vitamin premix provided the following per kg of the diet：VA 8 000 IU，VD_3 3 600 IU，VE 21 IU，VK_3 4.2 mg，VB_1 3 mg，VB_2 10.2 mg，叶酸 folic acid 0.9 mg，泛酸钙 calcium pantothenate 15 mg，烟酸 nicotinic acid 45 mg，VB_6 5.4 mg，VB_{12} 0.024 mg，生物素 biotin 0.15 mg。

2) 微量元素预混料为每千克饲粮提供 The trace elements premix provided the following per kg of the diet：Cu (as copper sulfate) 8 mg，Fe (as ferrous sulfate) 60 mg，Zn 80 mg，Mn (as manganese sulfate) 80 mg，I (as potassium iodide) 0.6 mg，Se (as sodium selenite) 0.3 mg。

3) 代谢能为计算值，其余为实测值。ME was a calculated value, while the others were measured values.

1.4 测定指标及方法

1.4.1 生产性能

以重复为单位，统计产蛋数、平均蛋重，计算产蛋率、日产蛋量，每周以重复为单位结料和称重，计算平均日采食量和料蛋比。

1.4.2 蛋品质

每周末收集每个重复3枚鸡蛋。采用SONOVA蛋品质自动分析仪(Egg Analyzer™,Orka)测定鸡蛋蛋重、蛋白高度、哈夫单位和蛋黄颜色，采用蛋壳强度分析仪(Egg Force Reader,Orka)测定蛋壳强度，采用蛋壳厚度测定仪(Egg Shell Thickness Gauge,Orka)测定蛋壳厚度。称重分离蛋清后的蛋黄，蛋壳清洗、晾干，称重。

1.4.3 血浆生化指标

饲养试验结束时，每个重复随机选择1只体重接近平均体重的蛋鸡，供水禁饲12 h后，肝素钠抗凝管翅静脉采血，3 500 r/min 离心 15 min 制备血浆，分装后-80 ℃保存，用于血浆

生化指标的测定。总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、高密度脂蛋白(HDL)、低密度脂蛋白(LDL)、总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、钙(Ca)、磷(P)含量及谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、碱性磷酸酶(AKP)活性均采用日立全自动生化分析仪测定，检测试剂盒购于四川迈克生物科技股份有限公司。

1.5　数据处理分析

试验数据采用Excel 2007软件整理，试验结果以用平均值(mean)和集合标准误(SEM)表示，采用SPSS 18.0软件分析，蛋鸡感染沙门氏菌前生产性能与蛋品质采用单因素方差分析(one-way ANOVA)，蛋鸡感染沙门氏菌后，采用一般线性模型(general linear model,GLM)多变量模块分析，两两比较检验采用Duncun氏法多重比较检验，以*P*<0.05和*P*<0. 01分别作为差异显著和差异极显著判断标准，0.05≤*P* <0.10表示具有显著趋势。

2　结　果

2.1　凝结芽孢杆菌对沙门氏菌感染前后蛋鸡生产性能的影响

由表 2 可知，感染沙门氏菌前，与对照组相比，凝结芽孢杆菌组蛋鸡生产性能均无显著差异(*P*>0.05)，但有增加只产蛋量和降低料蛋比的趋势(*P* <0.10)。

表 2　凝结芽孢杆菌对感染沙门氏菌前蛋鸡生产性能的影响

Table 2　Effects of *Bacillus coagulans* on performance of laying hens before *Salmonella* infection

项目 Items	对照组 Control group	凝结芽孢杆菌组 *Bacillus coagulans* group	SEM	*P* 值 *P*-value
产蛋率 Laying rate/%	85.28	86.98	0.801	0.317
平均蛋重 Average egg weight/g	61.71	61.66	0.381	0.948
只产蛋量 Egg production/(g/d)	52.19	54.79	0.762	0.086
料蛋比 Feed/egg	2.10	2.05	0.013	0.062
平均日采食量 Average daily feed intake/(g/d)	110.03	110.07	0.652	0.977

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05），相同或无字母表示差异不显著（*P*>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

由表 3 可知，感染沙门氏菌后，凝结芽孢杆菌与沙门氏菌对生产性能无显著交互作用(P>0.05)；沙门氏菌显著降低了蛋鸡平均日采食量(P<0.05)，对其他生产性能指标无显著影响(P>0.05)，但有提高料蛋比趋势(P<0.10)；凝结芽孢杆菌显著降低了蛋鸡平均日采食量(P<0.05)，极显著降低了料蛋比(P<0.01)，对其他生产性能指标无显著影响(P>0.05)。

表 3　凝结芽孢杆菌对感染沙门氏菌后蛋鸡生产性能的影响

Table 3　Effects of *Bacillus coagulans* on performance of laying hens after *Salmonella* infection

项目 Items	组别 Groups				SEM	*P* 值 *P*-value		
	A	B	C	D		沙门氏菌 *Salmonella*	凝乳芽孢杆菌 *Bacillus coagulans*	沙门氏菌×凝乳芽孢杆菌 *Salmonella* *Bacillus*×*coagulans*
产蛋率 Laying rate/%	86.56	85.81	80.07	86.60	1.515	0.678	0.669	0.133
蛋重 Egg weight/g	60.65	61.74	61.44	61.56	0.395	0.723	0.489	0.575
日产蛋量 Egg production/(g/d)	53.09	53.23	50.67	52.49	0.742	0.996	0.377	0.284
料蛋比 Feed/egg	2.05	1.94	2.19	1.96	0.024	0.095	0.003	0.215
平均日采食量 Average daily feed intake/(g/d)	108.74	101.33	101.60	98.27	1.274	0.025	0.020	0.316

2.2　凝结芽孢杆菌对肠炎沙门氏菌感染蛋鸡蛋品质的影响

由表 4 可知，感染沙门氏菌前，与对照组相比，凝结芽孢杆菌组蛋壳重/蛋重极显著增加(P<0.01)，其他指标无显著差异(P>0.05)，但有增加蛋壳强度的趋势(P<0.10)。

表 4　凝结芽孢杆菌对感染沙门氏菌前蛋鸡蛋品质的影响

Table 4　Effects of *Bacillus coagulans* on egg quality of laying hens before *Salmonella* infection

项目 Items	对照组 Control group	凝结芽孢杆菌组 *Bacillus coagulans* group	SEM	*P* 值 *P*-value
蛋壳厚度 Eggshell thickness/mm	0.42	0.43	0.005	0.487
蛋壳强度 Eggshell strength/（kg/cm^2）	3.32	3.62	0.080	0.066

蛋黄颜色 Yolk color	6.10	5.87	0.150	0.448
哈氏单位 Haugh unit	84.82	85.59	0.730	0.610
蛋壳重/蛋重 Eggshell weight/egg weight	0.13^{B}	0.15^{A}	0.003	0.002
蛋黄重/蛋重 Yolk weight/egg weight	0.25	0.26	0.003	0.151

由表 5 可知，感染沙门氏菌后，凝结芽孢杆菌与沙门氏菌对蛋鸡蛋品质无显著交互作用(*P*>0.05)；沙门氏菌对蛋品质无显著影响(*P*>0.05)，但有降低蛋黄重/蛋重的趋势(*P*<0.10)；凝结芽孢杆菌对蛋品质无显著影响(*P*>0.05)。

表 5 凝结芽孢杆菌对感染沙门氏菌后蛋鸡蛋品质的影响

Table 5 Effects of *Bacillus coagulans* on egg quality of laying hens after *Salmonella* infection

项目 Items	组别 Groups				SEM	*P* 值 *P*-value		
	A	B	C	D		沙门氏菌 *Salmonella*	凝乳芽孢杆菌 *Bacillus coagulans*	沙门氏菌×凝乳芽孢杆菌 *Salmonella Bacillus×coagulans*
蛋壳厚度 Eggshell thickness/mm	0.43	0.44	0.41	0.43	0.004	0.122	0.095	0.897
蛋壳强度 Eggshell strength/（kg/cm^{2}）	3.34	3.56	3.37	3.47	0.062	0.861	0.426	0.741
蛋黄颜色 Yolk color	5.55	5.25	5.09	5.75	0.102	0.939	0.541	0.116
哈氏单位 Haugh unit	78.26	82.55	82.12	81.79	0.102	0.627	0.536	0.470
蛋壳重/蛋重 Eggshell weight/egg weight	0.14	0.14	0.13	0.14	0.002	0.405	0.405	0.253
蛋黄重/蛋重 Yolk weight/egg weight	0.26	0.27	0.26	0.26	0.004	0.048	0.466	0.897

2.3 凝结芽孢杆菌对感染沙门氏菌后蛋鸡血浆生化指标的影响

由表 6 可知，感染沙门氏菌后，凝结芽孢杆菌与沙门氏菌对血浆总蛋白含量、钙/磷及谷草转氨酶活性有显著交互作用(*P*<0.05)；沙门氏菌显著降低了血浆总胆固醇、甘油三酯和钙含量(*P*<0.05)，显著提高了血浆谷草转氨酶活性(*P*<0.05)，极显著提高了血浆碱性磷酸酶

活性(P<0.01)，对其他血浆生化指标无显著影响(P>0.05)，但有提高血浆总蛋白和球蛋白含量的趋势(P<0.10)，有降低血浆低密度脂蛋白含量和钙/磷的趋势(P<0.10)。凝结芽孢杆菌显著降低了血浆总胆固醇和甘油三酯含量(P<0.05)，对其他血浆生化指标无显著影响(P>0.05)，但有提高血浆谷草转氨酶活性的趋势(P<0.10)，有降低血浆低密度脂蛋白含量的趋势(P<0.10)。

表 6　凝结芽孢杆菌对感染沙门氏菌后蛋鸡血浆生化指标的影响

Table 6　Effects of *Bacillus coagulans* on plasma biochemical indices of laying hens after *Salmonella* infection

项目 Items	组别 Groups				SEM	*P* 值 *P*-value		
	A	B	C	D		沙门氏菌 *Salmonella*	凝乳芽孢杆菌 *Bacillus coagulans*	沙门氏菌×凝乳芽孢杆菌 *Salmonella Bacillus*×*coagulans*
总蛋白 TP/(g/L)	45.22^{b}	43.79^{b}	44.70^{b}	51.82^{a}	1.130	0.065	0.150	0.040
白蛋白 ALB/(g/L)	14.74	14.28	14.20	15.44	0.284	0.594	0.512	0.161
球蛋白 GLB/(g/L)	30.48	30.04	30.50	36.33	1.017	0.083	0.132	0.085
高密度脂蛋白 HDL/(mmol/L)	0.53	0.44	0.41	0.43	0.020	0.142	0.371	0.193
低密度脂蛋白 LDL/(mmol/L)	0.85	0.67	0.68	0.60	0.038	0.067	0.054	0.425
总胆固醇 TC/(mmol/L)	2.29	1.66	1.71	1.49	0.112	0.035	0.020	0.210
甘油三酯 TG/(mmol/L)	11.42	7.34	7.54	5.63	0.757	0.015	0.010	0.288
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	8.06	8.50	7.65	6.08	0.631	0.293	0.671	0.450
谷草转氨酶	194.58^{b}	184.56^{b}	188.50^{b}	230.38^{a}	0.583	0.026	0.064	0.006

AST/(U/L)								
钙 Ca/(mmol/L)	4.26	5.00	3.68	3.95	0.153	0.027	0.118	0.415
磷 P/(mmol/L)	2.00	1.80	1.67	2.31	0.078	0.615	0.261	0.058
钙/磷 Ca/P	2.16[a]	2.85[a]	2.20[a]	1.72[b]	0.137	0.057	0.658	0.045
碱性磷酸酶 AKP/(U/L)	1412.67	1684.18.00	2242.00	1919.00	150.064	0.006	0.833	0.051

3 讨 论

3.1 凝结芽孢杆菌对蛋鸡生产性能的影响

李国建[4]和刘磊等[5]研究表明，添加适量益生菌替代抗生素可以提升畜禽平均日增重与饲料转化效率。Hung 等[6]研究表明，肉鸡饲粮中添加凝结芽孢杆菌可以提高肉鸡饲料转化效率。Zhou 等[7]研究结果表明，饲粮中添加凝结芽孢杆菌可以显著提高广西黄鸡的生产性能。与上述结果类似，本试验发现感染沙门氏菌蛋鸡饲喂凝结芽孢杆菌后，可以显著增加采食量和降低料蛋比，同时一定程度改善产蛋率、平均蛋重和只产蛋重等生产性能。

本试验发现，蛋鸡感染肠炎沙门氏菌后对生长性能具有不利影响，沙门氏菌感染显著降低蛋鸡采食量和提高料蛋比，蛋鸡感染肠炎沙门氏菌后，饲粮添加凝结芽孢杆菌对沙门氏菌感染导致的生长性能降低具有一定的缓解作用。王蔚淼等[8]研究表明，凝结芽孢杆菌对肠道细菌（如大肠杆菌、沙门氏菌等）引起的肠道感染有拮抗作用，综上，在沙门氏菌感染情况下，饲粮中添加凝结芽孢杆菌可能具有保护机体健康和缓解病原菌应激等作用。

3.2 凝结芽孢杆菌对蛋鸡蛋品质的影响

本试验研究发现，蛋鸡感染沙门氏菌前后，饲粮中添加凝结芽孢杆菌对试验鸡蛋品质无显著影响，但可一定程度上提高蛋壳厚度、蛋壳强度等。Xu 等[9]研究指出，在饲粮中添加适量枯草芽孢杆菌可以增加蛋壳厚度、蛋黄颜色以及哈氏单位。李俊波等[10]发现饲粮中添加枯草芽孢杆菌可改善蛋重、蛋壳厚度以及哈氏单位等，并指出提高蛋壳厚度以及降低蛋的破损率可能与血钙的水平以及钙的利用率相关。Nahashon 等[11]证明了益生菌可以使得蛋鸡矿物质盐类比如钙和磷吸收更加充分，提高血清中钙、磷水平，利于产蛋时钙的充分供应。

3.3 凝结芽孢杆菌对蛋鸡血浆生化指标的影响

动物机体血浆生化指标与机体代谢、营养状况和疾病有密切关系，通过检测血浆生化指标可一定程度上反映动物机体在生理和病理上的变化。地衣芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌等益生菌能产生碱性、中性或酸性蛋白酶，从而促进饲粮中蛋白质的消化吸收[12]。滑静等[13]和陈家祥[14]等研究表明，在肉仔鸡中添加枯草芽孢杆菌或地衣芽孢杆菌能提高血浆总蛋白和白蛋白含量，本试验和上述报道基本一致，凝结芽孢杆菌与沙门氏菌对蛋鸡血浆总蛋白有显著的交互作用，凝结芽孢杆菌在蛋鸡感染沙门氏菌后血浆总蛋白显著升高，反映宿主在凝结芽孢杆菌与沙门氏菌相互作用下，机体产生相关应激反应。

血浆胆固醇、甘油三酯是反映机体脂质代谢的主要指标。吕尊周等[15]研究发现添加芽孢杆菌对血浆甘油三酯的含量显著降低影响。肠道微生物在脂类物质循环起着重要的作用，微生物能将游离脂肪酸转化成不同甘油三酯形式，从而阻碍了甘油三酯进入血液。血浆中胆固醇含量受到参与胆固醇合成的关键酶——羟甲基戊二酸单酰辅酶A活性的影响。益生菌可以抑制胆固醇合成过程中的关键酶，所以芽孢杆菌可能通过抑制羟甲基戊二酸单酰辅酶A活性来降低血清胆固醇的含量[16]。本试验添加凝结芽孢杆菌可以显著降低血浆总胆固醇和甘油三酯含量，与李福彬等[17]的报道结果相一致，李福彬等[17]研究发现添加地衣芽孢杆菌可以降低血清胆固醇。

血浆中碱性磷酸酶、谷丙转氨酶、谷草转氨酶等在临床上是评价肝、胰腺和肾脏等内脏功能正常与否的重要指标。本试验结果表明，蛋鸡感染沙门氏菌后可血浆中谷草转氨酶和碱性磷酸酶含量显著升高，但作用机制有待于进一步研究。

本试验结果表明，添加凝结芽孢杆菌可提高蛋鸡血浆中钙、磷含量，表明凝结芽孢杆菌可促进蛋鸡钙、磷的消化吸收，可能是凝结芽孢杆菌代谢产生了有机酸，促进了钙、磷的消化吸收。徐海燕等[18]研究发现，芽孢杆菌发酵液中含有一定量的乙酸、丙酸、丁酸等有机酸，这些物质可以降低肠道pH，促进矿物质吸收。

4 结 论

① 肠炎沙门氏菌使蛋鸡平均日采食量显著降低，料蛋比显著增加，但对其他生产性能指标、蛋品质无显著影响；血浆中总胆固醇和甘油三酯含量显著降低，谷草转氨酶和碱性磷酸酶含量显著升高，钙、磷含量具有降低的趋势。

② 饲粮中添加凝结芽孢杆菌使感染沙门氏菌后蛋鸡料蛋比显著降低，平均日采食量显著降低，其他生产性能指标得到改善，但对蛋品质无显著影响；显著降低血浆总胆固醇和甘油三酯的含量，同时改善血浆蛋白质代谢和脂质代谢。

参考文献：

[1] MOUNTZOURIS K C,BALASKAS C, XANTHAKOS I,et al.Effects of a multi-species probiotic on biomarkers of competitive exclusion efficacy in broilers challenged with *Salmonella enteritidis*[J].British Poultry Science,2009,50(4):467–478.

[2] CHEN C Y,TSEN H Y,LIN C L,et al.Oral administration of a combination of select lactic acid bacteria strains to reduce the *Salmonella* invasion and inflammation of broiler chicks[J].Poultry Science,2012,91(9):2139–2147.

[3] HIGGINS S E,HIGGINS J P,WOLFENDEN A D,et al.Evaluation of a *Lactobacillus*-based probiotic culture for the reduction of *Salmonella enteritidis* in neonatal broiler chicks[J].Poultry Science,2008,87(1):27–31.

[4] 李国建.凝结芽孢杆菌替代抗生素对猪生产性能的影响[J].河南农业科学,2004,33(10):72–74.

[5] 刘磊,朱立贤.芽孢乳杆菌对肉仔鸡生产性能、肠道发育和微生物菌群的影响[J].动物营养学报,2011,23(12):2136–2142.

[6] HUNG A T,LIN S Y,YANG T Y,et al.Effects of *Bacillus coagulans* ATCC 7050

on growth performance,intestinal morphology,and microflora composition in broiler chickens[J].Animal Production Science,2012,52(9):874–879.

[7] ZHOU X,WANG Y,GU Q,et al.Effect of dietary probiotic,*Bacillus coagulans*,on growth performance,chemical composition,and meat quality of Guangxi Yellow chicken[J].Poultry Science,2010,89(3):588–593.

[8] 王蔚淼,潘玲,周杰,等.青贮饲料中乳酸菌的体外抑菌试验及其细菌素的提取[J].饲料博览,2006(4):1–3.

[9] XU C L,JI C,MA Q,et al.Effects of a dried *Bacillus subtilis* culture on egg quality[J].Poultry Science,2006,85(2):364–368.

[10] 李俊波,成廷水,吕武兴,等.枯草芽孢杆菌制剂对蛋鸡生产性能、蛋品质和养分消化率的影响[J].中国家禽,2009,31(4):15–17.

[11] NAHASHON S N,NAKAUE H S,MIROSH L W.Production variables and nutrient retention in Single Comb White Leghorn laying pullets fed diets supplemented with direct-fed microbials[J].Poultry Science,1994,73(11):1699–1711.

[12] ZHANG Z F,KIM I H.Effects of multistrain probiotics on growth performance,apparent ileal nutrient digestibility,blood characteristics,cecal microbial shedding,and excreta odor contents in broilers[J].Poultry Science,2014,93(2):364–370.

[13] 滑静,郭玉琴,张淑萍,等.肉仔鸡日粮中添加枯草芽孢杆菌对平均日增质量和血液生化指标的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2003(2):14–15.

[14] 陈家祥,张仁义,王全溪,等.地衣芽孢杆菌对肉鸡生长性能、抗氧化指标和血液生化指标的影响[J].动物营养学报,2010,22(4):1019–1023.

[15] 吕尊周,袁肖笑,郝柱,等.芽孢杆菌制剂对蛋鸡产蛋性能、血清相关指标及肠道菌群的影响[J].中国兽医学报,2012,32(7):1068–1072.

[16] KNAP I,KEHLET A B,BENNEDSEN M,et al.*Bacillus subtilis* (DSM17299) significantly reduces *Salmonella* in broilers[J].Poultry Science,2011,90(8):1690–1694.

[17] 李福彬,陈宝江,梁陈冲,等.地衣芽孢杆菌对蛋鸡生产性能、蛋品质及血清相关指标的影响[J].中国饲料,2010,33(13):5–8.

[18] 徐海燕,曹斌,张志焱,等.芽孢杆菌发酵代谢产物的研究[J].饲料广角,2006(9):22-23.

Effects of *Bacillus coagulans* on Performance, Egg Quality and Plasma Biochemical Parameters of Laying Hens Infected with *Salmonella**

HUANG Shimeng　HUANG Churan　ZHAO Lihong　ZHANG Jianyun　JI Cheng　MA Qiugang*

(*State Key Laboratory of Animal Nutrition, China Agricultural University, Beijing* 100193, *China*)

Abstract: This study was conducted to evaluate the effects of *Bacillus coagulans* on performance, egg quality of laying hens before and after *Salmonella* infection, and to study the effects of *Bacillus coagulans* on plasma biochemical indices of laying hens after *Salmonella* infection. A total of 400 *Salmonella* negative, healthy *Jinghong* laying hens with similar laying rate （P>0.05） were randomly divided into 4 groups (groups A, B, C and D) with 5 replicates per group and 20 birds per replicate. The control group (groups A and C) was fed a basal diet, and the *Bacillus coagulans* group (groups B and D) was fed the basal diet supplemented with 2.5×10^{10} CFU/kg *Bacillus coagulans*. After 1 week, groups C and D were taken orally quantitative *Salmonella enterica serovar Enteritidis* suspension (1×10^8 CFU/mL) two days in a row, groups A and B were taken orally the same amount of sterile phosphate buffer saline (PBS), kept feeding for 3 weeks. The results showed as follows: 1) before *Salmonella* infection, *Bacillus coagulans* had no

significant effect on performance of laying hens (P>0.05). After *Salmonella* infection, *Salmonella* significantly decreased the average daily feed intake (P<0.05); *Bacillus coagulans* significantly decreased the feed to egg ratio (P<0.01), and significantly decreased the average daily feed intake (P<0.05). 2) Before *Salmonella* infection, *Bacillus coagulans* significantly increased the eggshell weight/egg weight (P<0.01). After *Salmonella* infection, *Salmonella* and *Bacillus coagulans* had no significant effects on egg quality indices (P>0.05). 3) After *Salmonella* infection, *Bacillus coagulans* significantly reduced the contents of total cholesterol and triglyceride in plasma (P<0.05); *Salmonella* significantly reduced the contents of total cholesterol, triglyceride and calcium in plasma (P<0.05), and significantly increased the plasma glutamic-oxalacetic transaminase activity (P<0.05); *Bacillus coagulans* and *Salmonella* had significant interaction on total protein content, calcium/phosphorus and glutamic-oxalacetic transaminase activity in plasma (P<0.05). It is concluded that *Bacillus coagulans* can improve the performance and egg quality of laying hens, also has a certain degree of improvement in the protein metabolism, lipid metabolism, liver function and absorption of calcium and phosphorus.

Key words: laying hens; *Bacillus coagulans*; *Salmonella*; performance

---

*Corresponding author, associate professor, E-mail: maqiugang@cau.edu.cn （责任编辑　武海龙）